



TITLE:

# Logic and memory devices of nonlinear microelectromechanical resonator( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Yao, Atsushi

---

CITATION:

Yao, Atsushi. Logic and memory devices of nonlinear microelectromechanical resonator. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18990>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016/03/20に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	八尾 惇
論文題目	Logic and memory devices of nonlinear microelectromechanical resonator (非線形微小電気機械共振器を用いたロジック及びメモリデバイス)		
(論文内容の要旨)			
<p>近年、非線形MEMS (microelectromechanical systems)共振器を用いたメモリ及びロジック応用に高い注目が集まっている。MEMS共振器は、半導体微細加工技術を用いて電気要素と機械要素を融合したMEMSデバイスの一つであり、機械的共振現象を利用した様々な応用がある。非線形性によりMEMS共振器は、大振幅振動と小振幅振動の共存状態を持ち得る。この2種類の振動を“1”と“0”と定め、ロジック及びメモリデバイスとして使用する提案がある。同様の原理によるデバイスは、ナノレベルの構造においては、既存の半導体メモリやロジックデバイスより消費電力が低くなると期待され、すべてが機械構造で作製可能となれば高温環境や宇宙空間など過酷環境の使用に適する。さらに、並列計算や演算形メモリ操作などの動的な操作を実現できるなど、MEMS共振器を用いたロジック及びメモリデバイスは次世代のキーデバイスとなる可能性がある。本論文は、非線形MEMS共振器を用いた機械式計算の原理検証を行ったものであり、(1)メモリの読出し操作、(2)メモリの書込み操作、(3)カウンタ操作、(4)多機能デバイスである演算形メモリの開発の4点に関する数値的、実験的検討の一連の成果をまとめたものである。本論文は7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景及び意義を述べている。また、MEMS共振器に関連する研究の状況についてまとめている。</p> <p>第2章では、本論文の基礎事項として、MEMS共振器の非線形性についてまとめ、そのメモリ及びロジック応用について述べている。まず、MEMS共振器の実験及び数値計算で得られる非線形振動現象を理解するための基礎をまとめている。次に、非線形MEMS共振器の周波数応答曲線に生じるヒステリシス特性の2状態をメモリ及びロジックに応用するため、MEMS共振器の振動に関して、非線形力学に基づき考察し、切り替え制御の導入の準備を行なっている。</p> <p>第3章では、非線形MEMS共振器を用いたメモリの読出し操作である変位測定を検討している。まず、セルフセンシングによる共振器の変位測定を提案している。先行研究では読出し操作、すなわち2種類の振動の変位測定にドップラー干渉計などの測定器が必要となり、メモリシステム全体が大型・複雑化していた。そこで提案システムでは、MEMS共振器の左右電極に逆位相電圧を印加した差動測定において、共振器に流れる電流が振動の変位のみ依存することを用いたセルフセンシングを導入した。増幅回路を併用するものの、共振器の電流計測により2種類の安定周期振動が測定できることを理論的に示し、かつ実験的に実現した。また、採用した非線形MEMS共振器のモデルを与え、非線形MEMS共振器の力学的モデルのパラメーター同定を行い、数値計算によりMEMS共振器の非線形性について、合わせて議論を行った。</p> <p>第4章では、非線形MEMS共振器を用いたメモリの書込み操作について検討している。非線形MEMS共振器を用いたメモリにおいて、その書込み操作は安定周期振動間の切り替えを意味する。ここではまず、ノイズに強い閉ループ系の切り替え制御として変位フィードバック制御を用いている。次に、目標値が不要な遅れフィードバック制御を適用し、その妥当性を検討している。第3章のセルフセンシングによる変位測定に基づき、MEMS共振器の2種類の安定周期振動間の切り替え制御を、閉ループ系の変位フィードバック制御により実験的に達成した。合わせて数値計算によりその特性などを検討している。また、遅れフィードバック制御システムについても、目標信号を必要としない閉ループ系である特性を活かして、2種類の振動の切り替え制御が可能であることを数値計算により示した。</p> <p>第5章では、同一設計の非線形MEMS共振器2個を電氣的に結合し、順序回路である2ビットバイ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	八尾 惇
<p>ナリカウンタの実現を検討した結果をまとめている．外部から与えたクロック毎に，2つの MEMS 共振器の振動状態が小振動（“0”），大振動（“1”）を切り替え，結合したままで“00”，“01”，“10”，“11”の順に切り替わる操作，すなわちカウンタ操作を検討し，数値計算で可能性を検討すると同時に，結合非線形 MEMS 共振器を用いた実験においても実証した．加えて，数値計算によりリセット動作を実現するための必要条件を検討した．以上の結果より，すべての順序回路の基礎となる操作を結合振動子系の制御により実現できることを示す結果を得ている．</p> <p>第6章では，単一の非線形 MEMS 共振器を用いた多機能デバイスについてさらに検討している．ここでは，多機能デバイスとして演算機能を有するメモリである演算形メモリを検討している．まず，非線形 MEMS 共振器を用いた変位フィードバック系を構成し，共振器の各初期振動の振幅の状態に依存せず同じ振幅を保つ領域が存在することを，数値計算により明らかにした．次に，制御入力を切った際に非線形 MEMS 共振器は出力を保持することを示した．これに基づき，非線形 MEMS 共振器により OR ゲート機能を有するメモリが実現可能であることを，数値計算及び実験的に示した．また合わせて，同一の共振器を用いてリプログラム可能な演算形メモリが構成できることも数値計算により示した．</p> <p>第7章は結論であり，本論文で得られた成果について要約すると共に，今後の研究課題について要約している．</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、非線形 MEMS (microelectromechanical systems) 共振器を用いた機械式計算の原理検証を行ったものであり、(1)メモリの読出し操作、(2)メモリの書込み操作、(3)カウンタ操作、(4)多機能デバイスである演算形メモリの開発の4点に関する数値的、実験的検討の一連の成果をまとめたものである。本論文により得られた主要な結果は以下の通りに要約される。

- (1) 非線形MEMS共振器を用いたメモリの読出し操作である変位測定を、セルフセンシングにより実現した。先行研究で必要としたドップラー干渉計などの測定器は、メモリシステム全体の大型・複雑化を招く。そこでMEMS共振器の左右電極に逆位相電圧を印加した差動測定において、共振器に流れる電流が振動の変位のみに依存することを用い、セルフセンシングが可能であることを示した。増幅回路を併用するものの、共振器の電流計測により2種類の安定周期振動が測定できることを理論的に示し、かつ実験的に実現した。
- (2) セルフセンシングによる変位測定に基づき、MEMS共振器の2種類の安定周期振動間の切り替え制御を、閉ループ系の変位フィードバック制御により実験的に達成した。合わせて、数値計算によりその特性などを検討した。また、遅れフィードバック制御システムについても、目標信号を必要としない閉ループ系である特性を活かして、2種類の振動の切り替え制御が可能であることを数値計算により示した。
- (3) 非線形MEMS共振器2個を電氣的に結合し、順序回路である2ビットバイナリカウンタを実現した。外部から与えたクロック毎に、2つのMEMS共振器の振動状態が小振動(“0”), 大振動(“1”)を切り替え、結合したままで“00”, “01”, “10”, “11”の順に切り替わる操作、すなわちカウンタ操作を検討し、数値計算で可能性を検討すると同時に、結合非線形MEMS共振器を用いた実験においても実証した。これはすべての順序回路の基礎となる操作を結合振動子系の制御により実現できることを示した結果となっている。
- (4) 単一の非線形MEMS共振器を用いた多機能デバイスとして演算機能を有するメモリである演算形メモリを開発した。まず、非線形MEMS共振器を用いた変位フィードバック系を構成し、共振器の各初期振動の振幅の状態に依存せず同じ振幅を保つ領域が存在することを、数値計算により明らかにした。次に、制御入力を切った際に非線形MEMS共振器は出力を保持することを示し、これに基づき非線形MEMS共振器によりORゲート機能を有するメモリが実現可能であることを、数値計算及び実験的に示した。合わせて、同一の共振器を用いてリプログラム可能な演算形メモリが構成できることも明らかにした。

上記のように本論文では、工学的応用の観点に立脚し、非線形 MEMS 共振器を用いたメモリの原理検証を行うと共に、複数の MEMS 共振器を用いて演算操作を行った結果を示している。さらに、単一デバイスを用いた演算形メモリを実験的に実現したものであり、極めて独創的な成果である。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降